

Zu Mechanismen der Linienmigration von Pflanzen*

Ingo Kowarik und Moritz von der Lippe

Abstract: Mechanisms of linear plant migration

Linear landscape elements function as important leading structures for plant dispersal. Their ecological relevance results mostly from fostering long-distance dispersal events. While linear distribution patterns of plant species along streams and rivers have been observed since the 19th century, corresponding patterns along roads became much later object of research. Even though such distribution patterns strongly indicate the functioning of roads as dispersal corridors they do not explain the underlying mechanisms. Taking roads as an example, we here illustrate linear plant migration as an outcome of spatial and, in part, functional overlay of varying habitat and dispersal related mechanisms.

1. Einleitung

Die Bedeutung natürlicher oder anthropogener linearer Strukturen in der Landschaft als Ausbreitungskorridore für Pflanzen ist lange bekannt (vgl. Übersichten von KOPECKÝ 1971, BRANDES & OPPERMAN 1995, KOWARIK & VON DER LIPPE 2007). Mit einer Differenzierung nach dem Typ des Ausbreitungskorridors haben tschechische Autoren die Ausbreitung von Pflanzen entlang von Fließgewässern, Straßen und Bahngleisen als „fluminische“, „viatische“ und „ferroviatische“ Migration differenziert (DOMIN 1931, 1947, KOPECKÝ 1971). Erste systematische Beobachtungen an Fließgewässern (ASCHERSON 1864, LÖW 1878/79) führten zur Abgrenzung von „Stromtalpflanzen“ (vgl. Überblick bei BURKART 2001), deren Vorkommen häufig im Randbereich ihres Areals auf Auen von Fließgewässern konzentriert sind, wobei das „Herabsteigen von Gebirgspflanzen“ (ASCHERSON 1864) besondere Beachtung fand. Auch die Rolle von Fließgewässern für die Ausbreitung von Neophyten ist lange Gegenstand von Untersuchungen, wobei neben Wasserpflanzen (z.B. BOLLE 1865 zu *Elodea canadensis*) zunehmend Neophyten mit linearen Verbreitungsmustern an Ufern erkannt wurden (z. B. KOPECKÝ 1967, JEHLÍK & HEJNÝ 1974, BRANDES & SANDER 1995).

Die Rolle anthropogener linearer Landschaftsstrukturen wurde zunächst an Bahnanlagen untersucht, die schon im 19. Jahrhundert als Ausgangspunkt für die Einschleppung nichteinheimischer Arten und ihre weitere Ausbreitung entlang von Gleisanla-

* Herrn Prof. Dr. Dietmar Brandes aus Anlass seines 60. Geburtstages gewidmet.

gen erkannt wurden (z.B. HOLLER 1868, LEHMANN 1895, THELLUNG 1912, KREH 1960, BRANDES 1993, BRANDES & OPPERMAN 1995). Obwohl die Ausbreitung von Pflanzen entlang von Straßen sicher eine viel weiter zurückreichende Geschichte hat (BONN & POSCHLOD 1998), sind lineare Verbreitungsmuster in Mitteleuropa vergleichsweise spät systematisch untersucht worden (KOPECKÝ 1971, 1988). Seit den 1970er Jahren häufen sich Beobachtungen bandförmiger Verbreitungsmuster von Arten vor allem an Autobahnrandern. Neben salztoleranten Arten der Küsten wie *Puccinellia distans* (SEYBOLD 1973) oder *Cochlearia danica* (LIENENBECKER 2000), vollziehen sich bei mehreren Neophyten auffällige Ausbreitungsprozesse, wie bei *Atriplex*-Arten (SCHNEDLER & BÖNSEL 1989), *Bunias orientalis* (HEINRICH 1985) *Dittrichia graveolens* (NOWACK 1993) oder, besonders intensiv beobachtet, bei *Senecio inaequidens* (vgl. Überblick in HEGER & BÖHMER 2005). Vor kurzem haben BRANDES & NITSCHKE (2007) auch Straßen begleitende Vorkommen von *Ambrosia artemisiifolia* dokumentiert.

Die ökologische Bedeutung der Ausbreitung von Arten entlang linearer Landschaftselemente resultiert zum einen aus dem Phänomen der Fernausbreitung, die erheblich zur Arealerweiterung von Arten führen kann. Zum anderen kann die Ausbreitung entlang linearer Landschaftsstrukturen auch zur weiteren Ausbreitung in angrenzende Flächen vermitteln (GELBARD & BELNAP 2003, TYSER & WORLEY 1992, PAUCHARD & SHEA 2006). So haben PYŠEK & PRACH (1993) gezeigt, dass sich die Ausbreitung von *Heracleum mantegazzianum*, *Impatiens glandulifera* und *Fallopia japonica* zunächst entlang von Fließgewässern vollzog, bevor die Arten auch gewässerferne Lebensräume besiedelten. Bei *Senecio inaequidens* erfolgte zumindest in einigen Fällen eine weitere Ausbreitung von Straßen in angrenzende Lebensräume (GRIESE 1998, BORNKAMM 2006).

Bandförmige Verbreitungsmuster von Pflanzen entlang von Fließgewässern, Bahnanlagen und Straßen verweisen nachdrücklich auf die Rolle solcher linearer Landschaftselemente als Ausbreitungskorridore. Sie lassen jedoch keine Aussagen zu den zugrunde liegenden Mechanismen zu. Im Kern geht es dabei um die Differenzierung von Mechanismen, die mit den Eigenschaften von Habitaten linearer Landschaftsstrukturen verbunden sind – oder die von der Art, Eigenschaft und Reichweite von Ausbreitungsvektoren bestimmt werden, die im selben Raum wirksam sind. Am Beispiel von Straßen wollen wir in diesem Beitrag die bekannte oder zumindest mögliche funktionale Bedeutung solcher Mechanismen für die Ausbreitung von Pflanzen an Verkehrswegen aufzeigen.

2. Mechanismen der Linienmigration an Straßen

Aus bandförmigen Verbreitungsmustern vieler Neophyten entlang von Straßen kann indirekt auf die Rolle des Verkehrs als Ausbreitungsvektor und die Bedeutung von Straßen als Ausbreitungskorridore geschlossen werden. Allerdings weisen Straßen

auch eine Reihe standörtlicher Merkmale auf, welche die Etablierung und, nachfolgend, eine vom Verkehr unabhängige Ausbreitung von Pflanzen entlang von Straßen begünstigen können. Insofern ist zum tieferen Verständnis des Phänomens der Linienmigration zwischen der Bedeutung des Ausbreitungsvektors Verkehr und der anderer habitatspezifischer Merkmale von Straßen zu unterscheiden. KOPECKY (1971: 304f.) hat die Bedeutung dieser beiden Faktorenkomplexe bereits klarsichtig erkannt:

„Die Linienmigration der Pflanzen längs der Wasserläufe und Kommunikationen [Verkehrswege] wird angeregt: 1. Durch die Entstehung von Standorten, die von denen in der offenen Landschaft qualitativ ganz verschieden sind und die die Ausbreitung und Existenz der Pflanzen verschiedener ökologischer Ansprüche ermöglichen oder erleichtern (rezente Flussanschwemmungen, vegetationsfreie oder locker bestandene Strassen- und Eisenbahndämme usw.). – 2. Durch sich wiederholenden Transport der Pflanzendiasporen entlang der gegebenen Linie (Herabschwemmung durch den Wasserstrom, Ausbreitung durch die Luftströmung ..., Beförderung von Diasporen durch Strassen- und Eisenbahnverkehr usw.).“

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, in welchem Ausmaß bandförmige Verbreitungsmuster an Verkehrswegen durch den einmaligen oder wiederholten Diasporentransport durch Kraftfahrzeuge und andere für Straßenkorridore charakteristische Ausbreitungsereignisse zu erklären sind oder ob bandförmige Verbreitungsmuster entlang von Straßen nur als Abbild analoger Habitatmuster zu deuten sind. Auch wenn die relativen Anteile beider Faktorenkomplexe an Ausbreitungsprozessen noch im Detail unbekannt sind, ist von ihrem Zusammenwirken auszugehen: Besondere Standortbedingungen an Straßenrändern (z.B. Störungsstellen, Salzeinwirkung) können die Etablierung von Pflanzen fördern, deren Diasporen zuvor durch KFZ an den Standort gebracht worden waren. Daraus erwachsende Straßenrandpopulationen können wiederum als Diasporenquellen für weitere verkehrsbürtige Ausbreitungsprozesse wirken. Allerdings kann auch eine Veränderung der Habitateigenschaften zum Rückgang Straßen begleitender Populationen führen. Ein gutes Beispiel hierfür ist *Atriplex oblongifolia*, die in der 80er Jahren in Sachsen-Anhalt zunächst durch die chemische Bekämpfung von Straßenrandvegetation gefördert wurde, jedoch wieder zurückging als die Pflege der Straßenränder auf mehrmalige jährliche Mahd umgestellt wurde (ILLIG 1985, BRANDES & OPPERMAN 1995).

2.1. Transport von Diasporen durch Kraftfahrzeuge

Die Rolle von KFZ als Ausbreitungsvektoren wurde mit verschiedenen Ansätzen zumeist indirekt analysiert, ist aber durch jüngere Untersuchungen auch direkt belegt worden.

2.1.1. Interpretation von Ausbreitungsmustern

Als Hinweis für die Rolle des Verkehrs als Ausbreitungsvektor sind räumlich-zeitliche Ausbreitungsprozesse entlang von Straßen gedeutet worden, die nicht allein standortbezogen zu erklären sind (KOPECKÝ 1971 u. a.). So wurde bei *Puccinellia distans* festgestellt, dass sich Populationen von der Küste ins Binnenland ausbreiteten, wobei isolierte Vorposten nur als KFZ-bedingte Fernausbreitungsereignisse zu deuten sind (SCOTT & DAVISON 1985). In Deutschland vollzog sich die Ausbreitung von *Senecio inaequidens* entlang von Autobahnen in solcher Geschwindigkeit ostwärts, dass zumindest auf eine Mitwirkung von KFZ als Ausbreitungsagenzien geschlossen wurde (GRIESE 1998, HEGER & BÖHMER 2005, BORNKAMM 2006). Auch kleinräumige Verbreitungsmuster von Arten deuten darauf hin. So trat *Brassica napus* an englischen Autobahnrandern verstärkt entlang der Richtungsfahrbahn auf, die zu einem Raps verarbeitenden Betriebes führte, wogegen die Populationen entlang der gegenüber liegenden Fahrbahn seltener waren (CRAWLEY & BROWN 2004). Auch in Berlin wurden bei Raps und auch bei Roggen und Weizen klar voneinander differenzierte Vorkommen an entgegen gesetzten Richtungsfahrbahnen nachgewiesen (VON DER LIPPE & KOWARIK 2007a)

2.1.2. Nachweis der Diasporenanhaftung an Fahrzeuge

Der klassische indirekte Nachweis von Ausbreitungsereignissen durch den Verkehr besteht in der Isolation von Diasporen aus Substratanhaftungen an KFZ, die zunächst von CLIFFORD (1959) und später durch andere von Rädern, Radkästen oder anderen Teilen der Karosserie gewonnen worden sind (SCHMIDT 1989, HODKINSON & THOMPSON 1997, ZWAENEPOEL et al. 2006).

Tab. 1: Autos als Ausbreitungsvektoren nichteinheimischer Arten. Aufgeführt sind die jeweils fünf häufigsten Arten, deren Diasporen an Autos nachgewiesen worden sind. Zum Nachweis direkter Transportereignisse durch KFZ vgl. Tab. 2.

CLIFFORD 1959 (Nigeria)	WACE 1977 (Australien)	SCHMIDT 1989 (Deutschland)	MILBERG 1991 (Schweden)	HODKINSON & THOMPSON 1997 (England)	ZWAENEPOEL et al. 2007 (Belgien)
<i>Eleusine indica</i>	unbestimmte Gräser	<i>Poa annua</i>	unbestimmte Gräser	<i>Plantago major</i>	<i>Poa annua</i> et <i>trivialis</i>
<i>Ageratum conyzoides</i>	<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Plantago major</i>	<i>Matricaria discoidea</i>	<i>Poa annua</i>	<i>Plantago major</i>
<i>Oldenlandia lancifolia</i>	<i>Betula spec.</i>	<i>Epilobium roseum</i>	<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Poa trivialis</i>	<i>Sagina procumbens</i>
<i>Sporobolus pyramidalis</i>	<i>Eleusine tristachya</i>	<i>Stellaria media</i>	<i>Plantago major</i>	<i>Urtica dioica</i>	<i>Juncus bufonius</i>
<i>Digitaria velutina</i>	<i>Poa annua</i>	<i>Poa trivialis</i>	<i>Sagina procumbens</i>	<i>Matricaria discoidea</i>	<i>Urtica dioica</i> et <i>urens</i>

Mit einem originellen Ansatz hat WACE (1977) die Ablagerungen einer Autowaschanlage untersucht und somit die beprobte Fahrzeugfläche indirekt erheblich gesteigert, allerdings um den Preis des Verlustes von Diasporen, die nicht in das Sediment der Waschanlage gelangt sind. Anhaftungen von Diasporen sind auch von landwirtschaftlichen Geräten belegt worden (STRYKSTRA et al. 1997, MAYER 2000) wobei auch vegetative Verbreitungseinheiten transportiert werden (z.B. von *Cyperus esculentus*, TER BORG et al. 1998). Diese Arbeiten haben insgesamt gezeigt, dass ein breites Artenspektrum mit KFZ ausgebreitet wird, wobei Arten mit besonders kleinen Diasporen in den Proben dominieren (HODKINSON & THOMSON 1997). Besonders die australische Arbeit von WACE (1977) hat verdeutlicht, dass unter den transportierten Arten viele nichteinheimische vertreten sein können. Bei den häufigsten Arten bestehen deutliche Gemeinsamkeiten (Tab. 1).

2.1.3. Direkter Nachweis verkehrsbedingter Ausbreitungsereignisse

Mit dem Nachweis der substratvermittelten Anhaftung von Diasporen an KFZ ist ein eindrucksvoll breites, vom Verkehr transportiertes Artenspektrum belegt worden. Die Untersuchung von Anhaftungen ist jedoch mit zwei methodischen Nachteilen verbunden: Zum einen wird nur der Teil des durch KFZ transportierten Diasporenspektrums erschlossen, der tatsächlich mittels Matsch oder anderen Trägersubstraten an der Karosserie haftet und Untersuchungen zugänglich ist. Zum anderen lassen Anhaftungen von Diasporen an KFZ keine Aussagen über Transportdistanzen und den konkreten verkehrsbürtigen Diasporenniederschlag entlang von Straßen zu. Bei der Beprobung von Straßen mit Diasporenfallen ist der vom Verkehr verursachte Diasporeneintrag nicht von dem zu unterscheiden, der von anderen Ausbreitungsvektoren, vor allem dem Wind, verursacht wird.

Diese methodischen Probleme wurden in Berlin durch die Beprobung von Autobahntunneln mit Diasporenfallen gelöst, da hierbei der aufgefangene Diasporenniederschlag eindeutig auf den Verkehr als Ausbreitungsvektor bezogen werden kann. Die Auswertung der in drei aufeinander folgenden Autobahntunneln am nördlichen Berliner Stadtrand gewonnenen Daten lässt sich in folgenden Punkten zusammenfassen (VON DER LIPPE & KOWARIK 2007a, b, VON DER LIPPE & KOWARIK 2008):

- Der verkehrsbürtige Diasporenniederschlag am Autobahnrand variiert zwischen 635 und 1579 Diasporen pro Quadratmeter und Jahr und liegt damit im Bereich von Diasporenniederschlägen, die für offenes Grasland belegt worden sind (VON DER LIPPE & KOWARIK 2007b).
- Unter den 204 Arten waren einheimische und nichteinheimische Arten (Archäophyten, Neophyten) zu genau gleichen Anteilen vertreten, wobei die Nichteinheimischen mit 55% mehr als die Hälfte der insgesamt ausgekeimten Diasporen ausmachten. Der Nachweis von Fernausbreitungsereignissen über einen Abgleich mit der Flora der Tunnelmundumgebungen erbrachte, dass etwa ein Drittel aller

Arten über mehr als mindestens 250 m durch KFZ transportiert worden sind. Solche Fernausbreitung trat bei nichteinheimischen Arten doppelt so häufig wie bei einheimischen auf. Besonders bemerkenswert war das Vorkommen des in Berlin noch sehr seltenen *Chenopodium pumilio*, dessen nächst gelegene Freilandpopulationen über 5 km entfernt von den beprobten Autobahntunneln liegen. Auch die für Berlin bislang noch nicht belegte *Cochlearia danica* wurde in den Proben nachgewiesen. Unter den nichteinheimischen Arten waren 39 Arten (19%), die in Deutschland oder anderen Teilen der Welt als problematisch gelten (VON DER LIPPE & KOWARIK 2007b).

- Das in den Tunneln festgestellte Artenspektrum wies eine höhere Ähnlichkeit mit der von LANGER (1994) untersuchten Berliner Straßenrandvegetation auf als mit dem Artenbestand in der Umgebung der Tunnelmündungen im Radius von 200 m. Dies weist auf eine positive Rückkoppelung zwischen Straßenrandlebensräumen als Spender und Empfänger von Diasporen hin. Allerdings enthielten die Proben auch Diasporen einiger Arten, die bislang noch nicht wild wachsend aus Berlin bekannt waren: *Aurinia saxatilis* [L.] Desv., *Campanula poscharskiana* Degen, *Cochlearia danica* L., *Cyperus eragrostis* Lam., *Impatiens walleriana* Hook., *Physalis peruviana* L. und *Solanum pseudocapsicum* L. (VON DER LIPPE & KOWARIK 2007b).
- Im Gegensatz zu allen anderen Untersuchungen zum KFZ-vermittelten Diasporentransport waren landwirtschaftliche Kulturarten sehr häufig in den Diasporenfallen vertreten; mit *Triticum aestivum* sogar als häufigster Art (Tab. 2). Dieses überraschende Ergebnis ist auf Transportverluste von transportierten Ladungen zurückgeführt worden und verweist damit auf einen wichtigen Ausbreitungsmodus, der mit der Untersuchung von substratvermittelten Anhaftungen an KFZ nicht erfasst werden kann. Gestützt wird diese These durch das im Verhältnis zu den anderen nachgewiesenen Arten signifikant höhere Diasporengewicht von Weizen, Roggen und Raps und das breite jahreszeitliche Spektrum des Diasporeneintrags dieser Arten, das weit über die Fruktifizierungszeiträume dieser Arten hinausreicht (VON DER LIPPE & KOWARIK 2007a). Das Phänomen der Transportverluste liefert damit auch Erklärungsansätze für bandförmige Vorkommen von Raps und Getreidearten, die an Straßen häufig bemerkt wurden (BRANDES & GRIESE 1991, PESSSEL et al. 2001), aber bislang nicht durch KFZ bedingten Diasporentransport nachgewiesen werden konnten.
- Die Zusammensetzung des Diasporenniederschlags an entgegen gesetzten Richtungsfahrbahnen unterschied sich deutlich voneinander, wobei mehr Arten aus der Stadt in Richtung Umland als umgekehrt transportiert wurden. Interessanterweise waren darunter nicht nur Neophyten, sondern auch einheimische Arten wie z. B. *Festuca brevipila*, die möglicherweise aus Ansaaten an Böschungen stammen und sich in diesem Fall genetisch von Wildsippen unterscheiden würden. Diese Ergebnisse veranschaulichen, dass mit dem Verkehr kein einheitliches Artenspektrum ausgebreitet wird, sondern gerichtete Ausbreitungsereignisse stattfinden. Im Fall

der Berliner Untersuchung lässt dies auf einen „Export“ urbaner Biodiversität mittels des KFZ-Verkehrs schließen (VON DER LIPPE & KOWARIK 2008).

Tab. 2: Die häufigsten Pflanzenarten, deren Diasporen in drei Berliner Autobahntunneln im Zeitraum zwischen Juli 2002 und Oktober 2003 in insgesamt 33 Samenfallen nachgewiesen worden sind (n = Anzahl gekeimter Diasporen; VON DER LIPPE & KOWARIK 2007b).

	Art	N
1.	<i>Triticum aestivum</i> L. em. Fiori et Paol.	1969
2.	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	1936
3.	<i>Betula pendula</i> Roth	1492
4.	<i>Sagina procumbens</i> L.	1089
5.	<i>Poa annua</i> L.	741
6.	<i>Lepidium ruderales</i> L.	578
7.	<i>Plantago major</i> subsp. <i>major</i> L.	498
8.	<i>Secale cereale</i> L.	446
9.	<i>Chenopodium album</i> L.	256
10.	<i>Brassica napus</i> L.	201
11.	<i>Polygonum aviculare</i> agg. L.	160
12.	<i>Solidago canadensis</i> L.	137
13.	<i>Herniaria glabra</i> L.	117
14.	<i>Urtica dioica</i> L.	112
15.	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	100
16.	<i>Taraxacum</i> sect. <i>Ruderalia</i> Kirschner	80
17.	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Med.	65
18.	<i>Lolium perenne</i> L.	65
19.	<i>Acer negundo</i> L.	64
20.	<i>Veronica chamaedrys</i> L.	64

2.2. Weitere Ausbreitungswege in Straßenkorridoren

Obwohl entsprechende direkte Nachweise zumeist noch fehlen, ist von weiteren verkehrsbezogenen Ausbreitungswegen auszugehen.

2.2.1. Ausbreitung durch Reisende

Hierzu zählen zunächst Ausbreitungsvorgänge, die absichtlich oder unbeabsichtigt durch Reisende induziert werden, etwa die Ausbreitung von Diasporen mittels Abfallablagerung während der Fahrt (z. B. bei Obstarten). Weiter können an Schuhen oder Kleidung anhaftende Diasporen an Parkplätzen freigesetzt werden, auch durch das Ausklopfen von Fußmatten. Diasporentransport an Schuhen oder Kleidung ist zwar lange bekannt (CLIFFORD 1956, POWELL 1968), aber noch nicht in Bezug auf diskontinuierliche Ausbringungsvorgänge an Straßen untersucht worden.

2.2.2. Ausbreitung von Anpflanzungen und Ansaaten

Lineare Anpflanzungen oder Ansaaten auf Mittelstreifen und an Straßenrändern oder –böschungen führen massenhaft zur beabsichtigten Einbringung von Gehölzen, Gräsern und Kräutern. In Nordhessen entfallen beispielsweise auf einen Kilometer Straße außerhalb von Siedlungen 1,1 ha Straßen begleitende Grünfläche, auf einen Kilometer Autobahn sogar 4.1 ha (STOTTELE & WAGNER 1992). Während früher viele nichteinheimische Gehölze gepflanzt wurden (STOTTELE 1992), werden in letzter Zeit zunehmend einheimische Arten bevorzugt. Dabei handelt es sich allerdings meist um fremde oder unbekannte Herkünfte, obwohl immer mehr „gebietseigene Gehölze“ zur Verfügung stehen (KOWARIK & SEITZ 2003). Untersuchungen in Westfalen haben ergeben, dass lineare Gehölzpflanzungen sehr dauerhaft sein können, auch wenn keine standortgemäße Arten verwendet worden sind (TENBERGEN & STARKMANN 1995). Solche Anpflanzungen können Ausgangspunkt von Ausbreitungs- und auch Hybridisierungsprozessen sein (SEITZ et al. 2007).

Auch wenn in den Grünlandansaaten einheimische Arten vorherrschen, so sind dies bei den meisten Gräsern und Leguminosen aus Gründen des Saatgutrechts Kultursippen. Viele dieser angesäten Sippen können sich an Straßenstandorten dauerhaft etablieren (KRAUSE 1989). Am Beispiel von Stauden-Lupinen ist gezeigt worden, dass sich angesäte Arten von straßenbegleitenden Böschungen auch in angrenzende Magerrasen ausbreiten können (KRAUSE 1989). Ansaaten an Straßenrändern sind zudem Ausbreitungsquelle speirochorer Arten, die als Grassamenbegleiter häufig unbeabsichtigt ausgebracht werden und sich zumindest teilweise in den Beständen etablieren können (SCHOLZ 1970, MÜLLER 1988).

Auch wenn bei den Berliner Tunnelversuchen (vgl. 2.1.3.) die Herkunft der transportierten Diasporen nicht bestimmt werden konnte, so bestehen doch Hinweise auf Anpflanzungen an Straßenböschungen oder am Straßenrand als Ausbreitungsquelle von Arten, die nachfolgend sekundär mit KFZ weiter transportiert worden sind. Auffälligstes Beispiel ist *Acer negundo* als häufigste Baumart (Tab. 2), die zur Böschungsbegrünung entlang der Autobahn verwendet worden ist, ebenso wie *Lycium barbarum*, das ebenfalls relativ häufig in den Proben vorkam. Diasporen einiger Baumarten lassen auf Straßenbäume als Ausgangspunkt schließen. Bei *Platanus hispanica* ist dies offensichtlich, weil im weiteren Umfeld keine wild wachsenden fruchtenden Platanen vorkommen, wogegen bei *Robinia pseudacacia* gleichermaßen gepflanzte und wild wachsende Individuen als Diasporenquelle infrage kommen.

2.2.3 Ausbreitung durch Unterhaltungs- und Pflegemaßnahmen

Weitere Ausbreitungswege ergeben sich durch Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen in Verkehrskorridoren. Die für landwirtschaftliches Grünland beschriebenen Ausbreitungswege über Anhaftung von Diasporen an Geräte und Maschinen, die zur Mahd

eingesetzt werden (STRYKSTRA et al. 1997, MAYER 2000), wirken auch an gemähten Straßenrändern und –böschungen (KOPCEKY 1971). Mit Substraten, die zum Straßen- und Wegebau oder zur Andeckung von Böschungen verwendet wird, werden weitere Arten ausgebreitet (CORNELIUS & KRING 1991, BONN & POSCHLOD 1998). So soll die Ausbreitung von *Corispermum leptopterum* mit Bausanden stark gefördert worden sein (KÖCK 1986). H. KUHBIER hat darauf hingewiesen, dass die Ausbreitung von *Cochlearia danica* an Autobahnen in Nordwestdeutschland auch durch das Ausbringen von Mulchgut gefördert worden ist, das aus Treibgut der Nordseeküste gewonnen wurde (vgl. BRANDES & OPPERMANN 1995).

3. Schlussfolgerungen

Die Linienmigration oder das „Wandern“ von Pflanzen entlang von Straßen erweist sich als Ergebnis des Zusammenwirkens verschiedener Mechanismen, die sich in linearen Landschaftsstrukturen oft mehrschichtig überlagern und auch funktional miteinander verbunden sein können. Wie fließendes Wasser wirkt fließender Verkehr als effektiver Ausbreitungsvektor von Pflanzen, wobei die Herkunft der transportierten und abgesetzten Diasporen sehr unterschiedlich sein kann. Neben Anhaftungen an Rädern und Karosserie spielen offenbar auch Transportverluste eine wichtige Rolle. Lineare Habitatstrukturen mit hohem Anteil an Störungsstellen begünstigen die Etablierung von Pflanzenpopulationen an Straßen, die durch verkehrsbürtigen Eintrag von Diasporen begründet werden können – und danach zum Ausgangspunkt weiterer Transportereignisse zu werden. Auch Begrünungen an Straßen können als Diasporenquellen fungieren, und mit ihrer Pflege sind weitere Ausbreitungswege von Pflanzen verbunden. Viele Fragen nach der relativen Bedeutung einzelner Ausbreitungswege sind jedoch noch weiter offen, so dass die Erforschung der Verbreitung und Ausbreitung von Pflanzen entlang linearer Landschaftsstrukturen ein spannendes Forschungsfeld bleibt.

Zusammenfassung

Lineare Landschaftsstrukturen sind wichtige Leitstrukturen für die Ausbreitung von Pflanzenarten. Ihre ökologische Bedeutung resultiert vor allem aus der Förderung von Fernausbreitungsereignissen. Während das Phänomen bandförmiger Verbreitungsmuster von Pflanzen in Flusstälern seit dem 19. Jh. gut bekannt ist, begann die Erforschung von Ausbreitungsprozessen entlang von Straßen sehr viel später. Die Beobachtung bandförmiger Verbreitungsmuster von Pflanzen weist zwar auf die Funktion linearer Landschaftselemente als Ausbreitungskorridore hin, bietet jedoch keinen direkten Aufschluss über ursächlich wirkende Mechanismen. In diesem Text veranschaulichen wir am Beispiel von Straßen, dass sich deren Funktion als Ausbreitungskorridore aus der Überlagerung und dem Zusammenspiel verschiedener habitat- und ausbreitungsbezogener Mechanismen ergibt.

Literatur

- ASCHERSON, P. (1864): Bericht über die sechste Versammlung des Vereins in Wittenberg. – Verh. Botan. Ver. Prov. Brandenburg, 6: V-IX.
- BOLLE, C. (1865): Eine Wasserpflanze mehr in der Mark. – Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg, 7: 1-15.
- BONN, S. & POSCHLOD, P. (1998): Ausbreitungsbiologie der Pflanzen Mitteleuropas. Grundlagen und kulturhistorische Aspekte. – Wiesbaden: Quelle & Meyer. 404 S.
- BORNKAMM, R. (2006): Ursachen und Grenzen der Ausbreitung von *Senecio inaequidens* DC. in Mitteleuropa – dargestellt am Beispiel von Berlin/Brandenburg. – Verh. Bot. Ver. Berlin Brandenburg, 139: 9-26.
- BRANDES, D. (1993): Eisenbahnanlagen als Untersuchungsgegenstand der Geobotanik. – Tuexenia, 13: 415-444.
- BRANDES, D. & GRIESE, D. (1991): Siedlungs- und Ruderalvegetation von Niedersachsen. Eine kritische Übersicht. – Universitätsbibliothek der TU Braunschweig. 173 S.
- BRANDES, D. & NITZSCHE, J. (2007): Verbreitung, Ökologie und Soziologie von *Ambrosia artemisiifolia* L. in Mitteleuropa. – Tuexenia, 27: 167-194.
- BRANDES, D. & OPPERMAN, F.W. (1995): Straßen, Kanäle und Bahnanlagen als lineare Strukturen in der Landschaft sowie deren Bedeutung für die Vegetation. – Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges., 7: 89-110.
- BRANDES, D. & SANDER, C. (1995): Neophytenflora der Elbufer. – Tuexenia, 15: 447-472.
- Burkart, M. (2001): River corridor plants (Stromtalpflanzen) in Central European lowland: a review of a poorly understood plant distribution pattern. – Global Ecol. Biogeogr., 10: 449-468.
- CLIFFORD, H.T. (1956): Seed dispersal on footwear. – Proc. Bot. Soc. Br. Isles, 2: 129-131.
- CLIFFORD, H.T. (1959): Seed dispersal by motor vehicles. – J. Ecol., 47: 311-315.
- CORNELIUS, R. & KRING, J. (1991): Zur Diasporenausbreitung auf urbanen Störungsflächen. – Verh. Bot. Ver. Berlin Brandenburg, 124: 115-126.
- CRAWLEY, M. J. & BROWN, S. L. (2004): Spatially structured population dynamics in feral oilseed rape. – Proc. R. Soc. B, 271: 1909-1916.
- DOMIN, K. (1931): Geobotanická exkurse na Vysokou v Malých Karpatech. Rozpr. 2. – Tr. Ces. Akad., 41 (2): 1-13. [zit. nach KOPECKÝ 1971]
- DOMIN, K. (1947): Pracovní metody soustavné botaniky. Acta Bot. Boh., 17: 1-176. [zit. nach KOPECKÝ 1971]
- GELBARD, J. L. & BELNAP, J. (2003): Roads as conduits for exotic plant invasions in a semiarid landscape. – Conservation Biology, 17: 420-432.
- GRIESE, D. (1998): Die viatische Migration einiger neophytischer Pflanzensippen am Beispiel norddeutscher Autobahnen. – Braunschw. Geobot. Arb., 5: 263-270.
- HEGER, T. & BÖHMER, H.J. (2005): The invasion of central Europe by *Senecio inaequidens* DC – a complex biogeographical problem. – Erdkunde 59: 34-49.

- HEINRICH, W. (1985): Verbreitung und Vergesellschaftung der Orientalischen Zackenschote (*Bunias orientalis* L.) in Thüringen. – Wiss. Z. Schriftenr. Friedrich-Schiller-Univ. Jena, Naturwiss. R., 34 (4): 577-583.
- HODKINSON, D. J. & THOMPSON, K. (1997): Plant dispersal: the role of man. – J. Appl. Ecology, 34: 1484–1496.
- HOLLER (1883): Die Eisenbahn als Verbreitungsmittel von Pflanzen, beleuchtet an Funden aus der Flora von Augsburg. – Flora, 68: 197-205.
- ILLIG, W. (1985): Zur Verbreitung der Langblättrigen Melde, *Atriplex oblongifolia* W. et K. im nördlichen Harzvorland. – Mitt. Flor. Kart. Halle, 11: 18-23.
- JEHLÍK, J. & HEJNÝ, S. (1974): Main migration routes of adventitious plants in Czechoslovakia. – Folia Geobot. Phytotax., 9: 241-248.
- KÖCK, U. (1986): Verbreitung, Ausbreitungsgeschichte, Soziologie und Ökologie von *Corispermum leptopterum* (Aschers.) Iljin in der DDR. 1. Verbreitung und Ausbreitungsgeschichte. – Gleditschia, 14 (2): 305-325.
- KOPECKÝ, K. (1967): Die flußbegleitende Neophytengesellschaft *Impatiens-Solidaginetum* in Mittelmähren. – Preslia, 39: 151-166.
- KOPECKÝ, K. (1971): Der Begriff der Linienmigration der Pflanzen und seine Analyse am Beispiel des Baches Studený und der Straße in seinem Tal. – Folia Geobot. Phytotax., 6: 303-320.
- KOPECKÝ, K. (1988): Einfluß der Straßen auf die Synanthropisierung der Flora und Vegetation nach Beobachtungen in der Tschechoslowakei. – Folia Geobot. Phytotax., 23: 145-171.
- KOWARIK, I. & SEITZ, B. (2003): Perspektiven für die Verwendung gebietseigener („autochthoner“) Gehölze. – Neobiota, 2: 3-25.
- KOWARIK, I. & VON DER LIPPE, M. (2007): Pathways in plant invasions. – In: NENTWIG, W. (Ed.), Biological Invasions. Ecological Studies, Vol. 193: 29-47. Springer, Berlin.
- KRAUSE, A. (1989): Rasenansaat und ihre Fortentwicklung an Autobahnen. Beobachtung zwischen 1970 und 1988. Schriftenr. Vegetationskde. 20: 125 S.
- KREH, W. (1960): Die Pflanzenwelt des Güterbahnhofs in ihrer Abhängigkeit von Technik und Verkehr. – Mitt. Florist.-soz. Arbeitsgem. N. F., 8: 86-109.
- LANGER, A. (1994): Flora und Vegetation städtischer Straßen am Beispiel Berlin. – Landschaftsentw. Umweltforsch. S 10: 199 S.
- LEHMANN, E. (1895): Flora von Polnisch-Livland. 9. Die advenen Florenelemente (Synanthropen) und ihre Verbreitung durch den Menschen und seine Transportmittel (Schiffe und Eisenbahnen). – Arch. f. Naturkde. Liv-, Est- u. Kurlands. Ser. Biol., 11: 100-119.
- LIENENBECKER, H. (2000): Das Dänische Löffelkraut (*Cochlearia danica* L.) nicht nur an Autobahnen. – Natur und Heimat, 60: 7-130.
- LOEW, E. (1879): Über Perioden und Wege ehemaliger Pflanzenwanderungen im norddeutschen Tieflande. – Linnaea, 8: 511-660.
- MAYER F. (2000): Long distance dispersal of weed diaspores in agricultural landscapes. The Scheyern approach. – Shaker Verlag, München. 206 S.
- MILBERG, P. (1991): Bildäck som fröspridare. – Fauna och flora, 86: 266-270.

- MÜLLER, N. (1988): Über südbayerische Grassamenankömmlinge, insbesondere *Leontodon saxatilis* Lam.. – Ber. Bayer. Bot. Ges., 59: 165-171.
- NOWACK, R. (1993) Massenvorkommen von *Dittrichia graveolens* (L.) Greut. (Klebriger Alant) an Autobahnen in Süddeutschland. – Florist. Rundbr., 27: 38-40.
- PAUCHARD, A. & SHEA K. (2006): Integrating the study of non-native plant invasions across spatial scales. – Biol. Invasions, 8: 399-413.
- PESEL, F. D., LECOMTE J., EMERIAU, V., KROUTI, M., MESSEAN, A. & GOUYON, P. H. (2001): Persistence of oilseed rape (*Brassica napus* L.) outside of cultivated fields. – Theor. Appl. Gen., 102: 841-846.
- POWELL R. H., 1968: Harmfull plant species entering New Zealand 1963-1967. – New Zeal. J. Bot., 6: 395-401.
- PYŠEK, P. & PRACH, K. (1993): Plant invasions and the role of riparian habitats: a comparison of four species alien to Central Europe. – J. Biogeogr., 20: 413-420.
- SCHMIDT, W. (1989): Plant dispersal by motor cars. – Vegetatio, 70: 147-152.
- SCHNEDLER W. & BÖNSEL, D. (1989): Die großwüchsigen Melde-Arten *Atriplex micrantha* C. A. MEYER in LEDEB. (= *A. heterosperma* BUNGE), *Atriplex sagittata* BORKH. (= *A. nitens* SCHKUHR = *A. acuminata* W. & K.) und *Atriplex oblongifolia* W. & K. an den hessischen Autobahnen im Sommer 1987. Teil I. – Hessische Floristische Briefe, 38 (4): 49-64.
- SCHOLZ, H. (1970): Über Grassamenankömmlinge, insbesondere *Achillea lanulosa* Nutt.. – Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg, 107: 79-85.
- SCOTT N.E. & DAVISON A.W. (1985): The distribution and ecology of coastal species on roadsides. – Vegetatio, 62 (1-3): 433-440.
- SEITZ, B., JÜRGENS, A. & KOWARIK, I. (2007). Erhaltung genetischer Vielfalt: Kriterien für die Zertifizierung regionalen Saat- und Pflanzguts. – BfN Skripten, 208: 1-48.
- SEYBOLD, S. (1973): Der Salzschwaden (*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.) an Bundesstraßen und Autobahnen. – Göttinger Florist. Rundbr., 7 (4): 70-72.
- STOTTELE, T. (1992): Flora und Vegetation an Straßen und ihre Bedeutung im Landschaftsgefüge. – In: STOTTELE, T. & SOLLMANN, A.: Ökologisch orientierte Grünpflege an Strassen. Grundlagen für die Entwicklung von Pflegeplänen und deren Anwendung - ein Pilotprojekt der Hessischen Straßenbauverwaltung. Schriftenr. Hess. Landesamt f. Straßenbau, 32: 35-84.
- STOTTELE, T. & WAGNER, U. (1992): Ergebnisse der Bestandskartierung und Pflegeplanung für ausgewählte Meistereibezirke in Nordhessen. – In: STOTTELE, T. & SOLLMANN, A.: Ökologisch orientierte Grünpflege an Strassen. Grundlagen für die Entwicklung von Pflegeplänen und deren Anwendung - ein Pilotprojekt der Hessischen Straßenbauverwaltung. Schriftenr. Hess. Landesamt f. Straßenbau, 32: 203-232.
- STRYKSTRA R. J., VERWEIJ G. L. & BAKKER J. P. (1997): Seed dispersal by mowing machinery in a Dutch brook valley system. – Acta Botanica Neerlandica, 46 (4): 387-401.
- TENBERGEN, B. & STARKMANN, T. (1995): Heckenneuanpflanzungen in Westfalen-Lippe und ihre zeitliche Entwicklung. – LÖBF Mitt., 3: 12-18.

- TER BORG, S. J., SCHIPPERS, P., VAN GROENENDAL, J. M. & ROTTEVEEL, T. J. W. (1998): *Cyperus esculentus* (Yellow Nutsedge) in N.W. Europe: invasions on a local, regional and global scale. – In: STARFINGER, U., EDWARDS K., KOWARIK, I. and WILLIAMSON, M. (eds.) Plant invasions: Ecological mechanisms and human response: 261-273. Backhuys Publishers, Leiden.
- THELLUNG, A. (1912): La flore adventice de Montpellier. – Mém. Soc. Sci. Nat. Cherbourg, 38: 622-647.
- TYSER, R.W. & WORLEY, C.A. (1992): Alien flora in grasslands adjacent to road and trail corridors in Glacier National Park, Montana (USA). – Conserv. Biol., 6:253-262.
- VON DER LIPPE, M. & KOWARIK, I. (2007a): Crop seed spillage along roads: a factor of uncertainty in the containment of GMO. – Ecography, 30: 483-490.
- VON DER LIPPE, M. & KOWARIK, I. (2007b): Long-distance dispersal of plants by vehicles as a driver of plant invasions. – Conservation Biology, 21 (4): 986-996.
- VON DER LIPPE, M. & KOWARIK, I. (2008): Do cities export biodiversity? Traffic as dispersal vector across urban-rural gradients. – Diversity and Distributions, 14: 18-25.
- WACE, N. (1977): Assessment of dispersal of plant species. The car-borne flora in Canberra. – Proc. Ecol. Soc. Australia, 10: 167-186.
- ZWAENEPOEL, A., ROOVERS, P. & HERMY, M. (2006): Motor vehicles as vectors of plant species from road verges in a suburban environment. – Basic Applied Ecology, 7: 83-95.

Anschriften:

Prof. Dr. Ingo Kowarik
 Dr. Moritz von der Lippe
 Technische Universität Berlin
 Institut für Ökologie
 Rothenburgstr. 12
 D-12165 Berlin
 Kowarik@tu-berlin.de
 Moritz.vdLippe@tu-berlin.de